

補助事業番号 2021M-149

補助事業名 2021年度 固定翼UAVによる短時間観測のための

高精度経路追従飛行技術の研究 補助事業

補助事業者名 室蘭工業大学 理工学部 創造工学科 航空宇宙機制御研究室 上羽正純

## 1 研究の概要

固定翼無人航空機の高速度での長時間飛行の長所を生かした利用を促進するため、広大なエリアを短時間で観測するために必要となる高精度経路追従飛行技術の研究開発を行った。観測のためのメアンダー状飛行機経路を想定し、そのために必要な水平直線追従制御、旋回経路追従制御の高精度化を検討し、考案手法の有効性を確認した。さらに、本手法を取り入れた飛行実験を実施した。

## 2 研究の目的と背景

近年、農林業分野で無人航空機(UAV)の利用が推進されており、固定翼UAVを用いた広大な農地を短時間で観測を行うシステムの検討がされている。観測においては、固定翼UAVはあらかじめ決められた経路を飛行する必要がある、半円弧と直線により構成されるメアンダー状(蛇行)経路(図1)にて農地部分を観測することを想定している。このメアンダー状飛行経路は、直線経路と旋回経路で構成されるため、それに対応して①高精度経路追従飛行制御法の研究として、a. 高精度水平直線追従制御及びb. 高精度旋回経路追従制御の研究を進め、それらの結果をもちいて②メアンダー状経路飛行実験によりその効果を検証する。

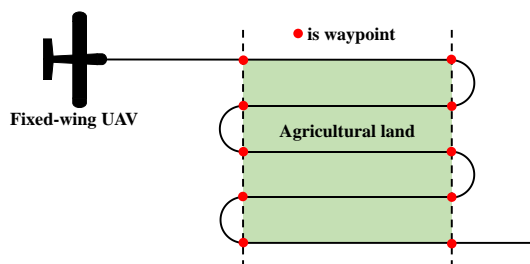


図1 観測のためのメアンダー状経路

## 3 研究内容([http://www3.muroran-it.ac.jp/asgnclab/GNC\\_LAB\\_research%202-5.html](http://www3.muroran-it.ac.jp/asgnclab/GNC_LAB_research%202-5.html))

研究目的に沿って、(1)を中心に研究開発を行い、それらを用いて(2)を実施した。

### (1) 高精度経路追従飛行制御法の研究

#### ①高精度水平直線追従制御

##### a. 地上からのトリム調整方法及びセンサ軸間誤差推定法

UAVの高精度な制御の実現には、トリム調整を行う際に入力した舵面調整角度量、及び、トリム状態を実現した後のセンサ座標軸と機体固定軸のずれである軸間誤差を知ることが重要である。本研究では地上TT&C装置を用いてトリム調整を行い、トリム飛行時の固定翼UAVの舵面補正角度量を正確に把握するとともに(図2)、計測した速度を用いて、センサ座標軸と機体固定座標軸間のアライメント誤差(図3)を推定する手法について実験

的検討を行った。

UAV の飛行トリム状態は姿勢角及び速度が一定と仮定し、固定翼 UAV を水平直線飛行となるようにトリム調整を行った。この状態で推定すべき軸間誤差  $\Delta\theta$ 、 $\Delta\phi$ 、 $\Delta\psi$  は、センサ座標系での  $V_{Sx}$ 、 $V_{Sy}$ 、 $V_{Sz}$ 、機体固定座標系での速度  $V_{Bx}$ 、 $V_{By}$ 、 $V_{Bz}$  を用いて (1) ~ (6) 式より求めた。

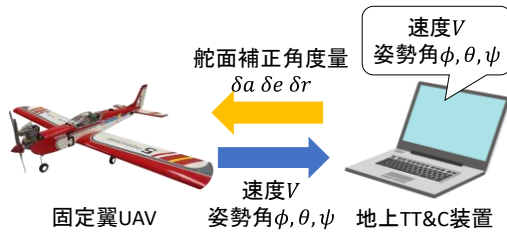


図 2 UAV への舵面調整角度入力 & 飛行状態測定系

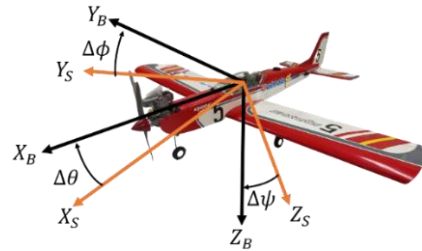


図 3 軸間誤差

Z 軸周り:	$V_{Bx} = V_{Sx} \cos \Delta\psi - V_{Sy} \sin \Delta\psi$	(1)
	$V_{By} = V_{Sx} \sin \Delta\psi + V_{Sy} \cos \Delta\psi$	(2)
Y 軸周り:	$V_{Bz} = V_{Sz} \cos \Delta\theta - V_{Sx} \sin \Delta\theta$	(3)
	$V_{Bx} = V_{Sz} \sin \Delta\theta + V_{Sx} \cos \Delta\theta$	(4)
X 軸周り:	$V_{By} = V_{Sy} \cos \Delta\phi - V_{Sz} \sin \Delta\phi$	(5)
	$V_{Bz} = V_{Sy} \sin \Delta\phi + V_{Sz} \cos \Delta\phi$	(6)

軸間誤差の推定結果を図 4-(a)、(b)、(c) に示す。軸間誤差の値が一定でなく、変動幅も大きいことを確認した。今後はトリム状態の実現度合いをはじめ、推定誤差の主たる要因を明確にし、より高精度な軸間誤差の推定を行っていく。

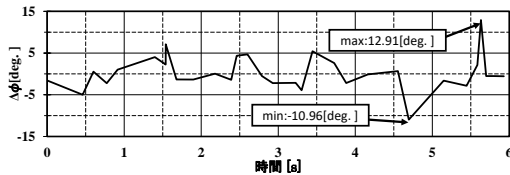


図 4-(a) ロール角軸間誤差

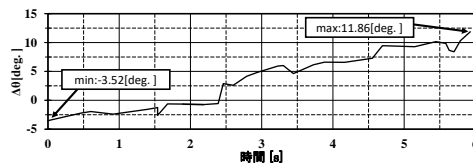


図 4-(b) ピッチ角軸間誤差

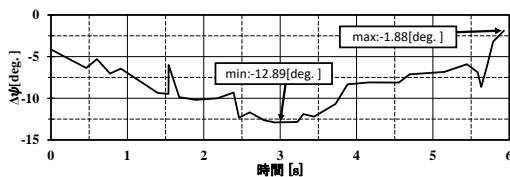


図 4-(c) ヨー角軸間誤差

### b. 機上での自動トリム調整法

遠隔操作で手動操縦される無人航空機においてはトリム舵角を人間が判断し調整するが、自動飛行において制御装置が舵角を自動的に調整する手法は公表されていない。特に小型の無人航空機の手動操縦によるトリム調整は目視で行われるため、感覚に依存し定量的ではない。そこで、制御装置が機体の回転運動を検出し自動的にかつ定量的にトリム状態の舵角を決定する手法を考案しシミュレーションで確認した。

機体が回転運動しているときの各機体軸周りのモーメントを打ち消すように力をエル

ロンまたはエレベーターで発生させることでトリムを取る。この時の舵角をトリム舵角とする。トリム舵角のモーメント係数をはじめとする空力微係数、機体の慣性能率、計測された角速度から定量的に決定する。実際には図5に示す飛行と処理で実現する。

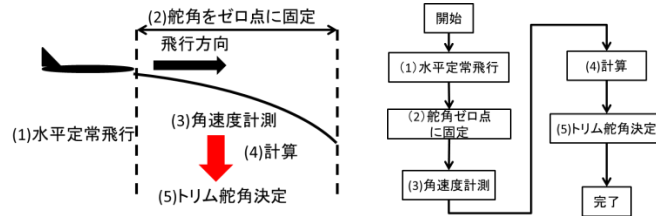


図5 自動トリム調整飛行の想定プロフィールと処理のフロー

処理フローとしては、

(1)トリムが取れている状態と仮定し自動で水平定常飛行を行い機体の回転運動を止める、(2) 舵角をゼロ点に固定し飛行しつつ(3) 角速度を計測、(4) (5) 計測された角速度からトリム舵角を決定の5段階でトリム舵角を決定する。

重心位置を機首方向に 10 cm、右方向に 10 cm ずらした機体をシミュレーション上で飛行させ、本手法の効果を確認した。高度変位や横方向変位が小さくなっている (図6) ことから調整方法の有効性が確認できた。

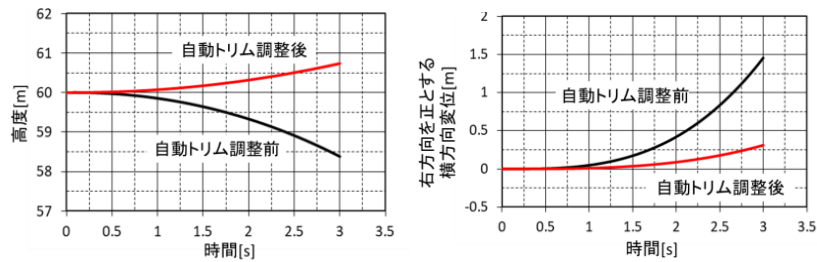


図6 シミュレーション結果

## ② 高精度旋回追従制御

縦及び横・方向のつり合いを考慮することによって、風外乱に対しても正確に旋回経路を追従する制御系を考案した。

本制御系を用いた無人航空機のシミュレーションを実施し、その有効性を確認した。決められた旋回半径でかつ、地表面に対して経路がずれることなく旋回飛行するためには下記二つの条件を満たす必要である。

- (ア) UAV の重量を支えるための揚力を確保する
  - (イ) 横方向の力が釣り合っている
- このために、縦と横の力の釣り合いに着目 (図7、8) し、それぞれ

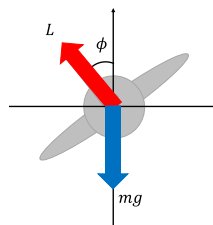


図7 縦のつり合い

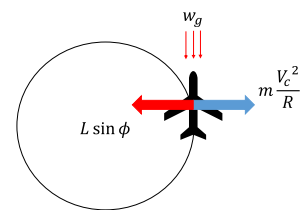


図8 横のつり合い

のつり合いを満たすロール角コマンドを適宜切り替えることで、墜落することなく旋回半径を維持するとともに、更に横滑り角制御をもちいた旋回制御系を考案した。

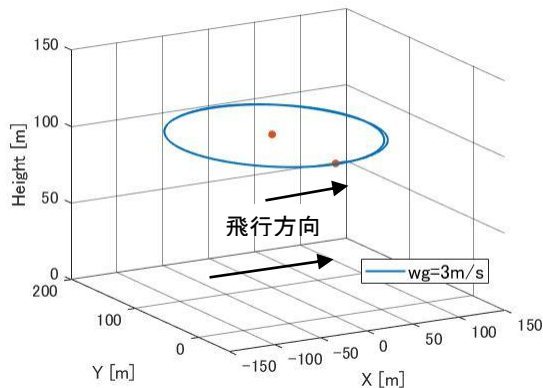


図9 旋回シミュレーション（鳥観図）

図9に速度3m/sの風を受けた場合の旋回シミュレーション結果の鳥観図を図10に、その時の旋回半径の時間履歴、図11に高度の時間履歴を示す。旋回半径としては、目標の100mに対して、-4m~+6mの変動があり、高度としては、過渡的には-2m~+6mの変動があるものの、定常的には1m以下であることを確認した。

(2) メアンダー状経路飛行実験

図12に示す無人航空機(UAV)を製作し、メアンダー状飛行実験を実施した。本UAVは全長1.5m、全幅2.0m、高さ0.5m、ドライ総重量5.4kgの機体であり、慣性航法装置等の各種センサ及び誘導制御系、遠隔監視制御系を有する。これにより自律飛行制御及び地上からの監視制御が可能である。

飛行実験の結果を図13に示す。現段階では本機体でのメアンダー状飛行は初めてであったため、各種調整が十分でないため、高精度な経路追従は実現できていない。今後、調整を完了させ、(1)での研究の効果を実証する。

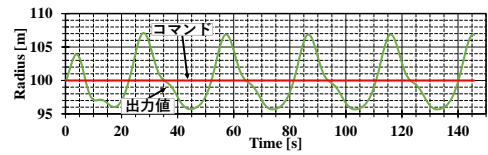


図10 旋回半径の時間履歴

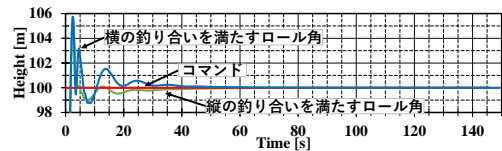


図11 高度の時間履歴



図12 製作した UAV

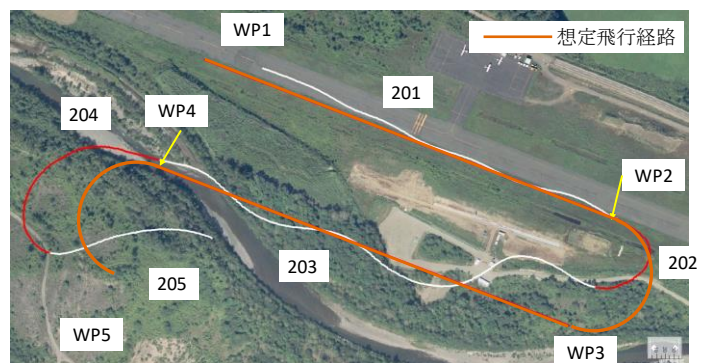


図13 メアンダー状飛行実験結果

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究は固定翼無人航空機を設定した経路上を位置精度よく飛行するための制御技術である。このような技術は、飛行経路上にあることを確保し、今後空の産業革命として期待されている無人航空機の観測及び物流へ安心して利用することを促進するものと展望する。

## 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

報告者は、これまで無人航空機の飛行制御技術、遠隔監視制御技術の研究を推進しており、今回の研究で、高精度経路追従制御技術の一つとして成果を得るとともに、その検討ならびに飛行実験を通して、研究室所属博士前期課程学生の要素技術及び飛行システムとしてまとめるこのとの重要性を理解させるための有用な教育の場となった。

## 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

### 学会発表

- ・川合、内藤、俵川、上羽、“固定翼無人航空機の地上局からのトリム調整及びセンサー-機体軸間アライメント誤差推定法の検討”、3C02 第59回飛行機シンポジウム（開催期間11月30日～12月2日、開催場所：オンライン）
- ・俵川、上羽、“固定翼無人航空機向けトリム自動調整技術の検討”、2C0、第59回飛行機シンポジウム（開催期間11月30日～12月2日、開催場所：オンライン）
- ・安川慧、上羽正純、風環境下での固定翼UAVの高精度旋回経路追従制御技術の検討、第19回HASTIC学術技術講演会、2022年3月8日、オンライン開催

## 7 補助事業に係る成果物

### (1)補助事業により作成したもの

6. の知財・発表論文等

### (2)(1)以外で当事業において作成したもの

航空宇宙機システム研究センター2021年次報告書（2022年7月頃発行予定）

(URL: <http://www.muroran-it.ac.jp/aprec/Annual/Annual.html>)

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 室蘭工業大学（ムロランコウギョウダイガク）

住 所： 〒050-8585

北海道室蘭市水元町27-1

担 当 者： 教授 上羽 正純（ウエバ マサズミ）

担 当 部 署： 理工学部創造工学科（リコウガクブソウゾウコウガッカ）

E - m a i l: [ueba@mmm.muroran-it.ac.jp](mailto:ueba@mmm.muroran-it.ac.jp)

U R L: <http://www3.muroran-it.ac.jp/asgnclab/index.html>